

GA-146

ESTUDIO DE LOS TIPOS DE RESIDUOS PRODUCIDOS EN TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS. DETERMINACIÓN Y COTEJO¹

Gómez-Soberón J. Manuel², Arredondo-Rea S. Paola³, Corral-Higuera Ramón⁴, Gómez-Soberón L. Alberto⁵, Gómez-Soberón M. Consolación⁶ y Esteban-Díaz M. Ángel⁷

En este trabajo se analizaron y compararon los materiales utilizados en dos tipologías constructivas. El objetivo del trabajo fue el indagar qué materiales de desecho producen cada uno de los sistemas, así como las variaciones al definir procedimientos de gestión diferentes. El lograr establecer las tendencias en la generación de materiales de desecho en la edificación permitirá proponer nuevas alternativas que minimicen el impacto que éstos conllevan sobre el medioambiente. El establecer las cantidades y determinar los tipos de desechos que se generan en la edificación permitiría desde la fase de diseño el poder proponer alternativas más eficientes, menos contaminantes o más sostenibles; así como el proponer tipologías alternativas que presenten opción en la construcción. El análisis efectuado contemplo proyectos de viviendas unifamiliares y plurifamiliares para cada una de las tipologías constructivas propuestas, contando cada Grupo de estudio con características equiparables dentro de sus entornos específicos, y por tanto, permitiendo validar al análisis efectuado. El análisis fue realizado mediante el uso de la herramienta informática de libre uso para la gestión de residuos en la construcción Net Waste Tool de la empresa Waste & Resources Action Programme, en la cual, se introdujeron los datos, características y volúmenes de cada variable para poder determinar y cuantificar los tipos de materiales residuos generados por éstos. Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente para determinar similitudes, diferencias y tendencias, estableciendo así la cuantificación genérica modelo de cada Grupo de estudio que permite aportar información como criterio de selección en la edificación futura.

¹ Trabajo presentado en el II Congreso Internacional de Cambios Climáticos de la VIII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, realizada en LA Habana, Cuba, del 4 al 8 de julio de 2011

² Departamento de Construcciones Arquitectónicas II, Universidad Politécnica de Cataluña. España. josemanuel.gomez@upc.edu

³ Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ingeniería Mochis, México. susypao79@gmail.com

⁴ Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ingeniería Mochis, México. rmn1779@gmail.com

⁵ Profesional Ingeniero Civil, México. laags@hotmail.com

⁶ Departamento de Materiales, Universidad Autónoma Metropolitana, México. cgomez@correo.azc.uam.mx

⁷ Departamento de Construcciones Arquitectónicas II, Universidad Politécnica de Cataluña. España. maed_19@hotmail.com

Palabras Clave: Cuantificación de residuos en la construcción, Impacto ambiental en la construcción, Materiales sostenibles para la construcción.

ESTUDIO DE LOS TIPOS DE RESIDUOS PRODUCIDOS EN TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS. DETERMINACIÓN Y COTEJO

Gómez-Soberón J. Manuel, Arredondo-Rea S. Paola, Corral-Higuera Ramón, Gómez-Soberón L. Alberto, Gómez-Soberón M. Consolación y Esteban-Díaz M. Ángel

1. Introducción

La gestión de los desechos que se generan en las diversas actividades comerciales o productivas es en la actualidad un requerimiento que empieza a ser reglamentado por normativas que exigen su cumplimiento, y que en el caso de no acatarse pueden llegar a conducir a sanciones económicas, a restricciones de la actividad realizada o la suspensión parcial o indefinida de la misma.

Además de las posibles problemáticas económicas que estas normativas pueden llegar a provocar, es plausible que una gestión correcta de los desechos en la cual no solo se dirijan los residuos a centros transformadores o a vertederos, sea considerada como un criterio que permitan acreditar verdadero compromiso ambiental. Una gestión de los residuos debe, entre otras cosas, establecer una previsión acertada desde el diseño propio del proyecto, de analizar su adecuada selección óptima de materiales idóneos y sostenibles, de supervisar su correcta selección en su gestación, de definir su adecuado transporte eficiente, y por último, de establecer su correcta evaluación (Batayneh, 2007), (Jaillon, 2008), siendo necesario que todos estos parámetros sean determinados de forma específica y con una necesaria precisión de su certeza.

El sector de la construcción en específico, es uno de los ámbitos productivos de nuestra sociedad actual con una gran capacidad de afectación medioambiental (Hendriks, 2000), (U.S. Green Building Council (USGBC)), siendo capaz de requerir y consumir considerables cantidades de materiales vírgenes, mientras que por otra parte es también culpable de la generación de millones de toneladas de residuos. La Unión Europea, ha fijado como objetivo al respecto de la generación de sus residuos la recuperación del 70% de éstos para el 2020 (Llatas, 2001), siendo por tanto que la optimización en la previsión de los mismos sea un tema prioritario y de interés para los investigadores y técnicos del sector. Por tanto, es evidente que la información al respecto de esta situación deba ser investigada y analizada, primando como objetivo aquellas que aporten conocimiento y sobre todo previsión de la generación de los residuos en la construcción; más sin embargo, en la actualidad son pocos los trabajos que aportan alternativas a su consecución (Llatas, 2001), (Symonds, 1999), y menos aún, el lograr discernir entre diferentes tipologías constructivas específicas, materiales alternativos, procesos equiparables, etc., puesto que éstos, previsiblemente pueden presentar gran variedad en su composición y contenido, atendiendo entre otras variables a los diferentes sistemas constructivos.

Por lo tanto, este trabajo lo que pretende es el aportar respuestas a algunas de estas

inquietudes expuestas, como además también, el aportar datos específicos reales basados en casos documentados (Gómez-Soberón, 2011), para de esta forma, puedan ser éstos usados como referencia en situaciones similares o en aquellas en las que no se cuenten con datos reales históricos o tampoco puedan ser determinados con antelación.

2 Estructuración y medida de los residuos en la construcción

Varias son las fuentes literarias que recopilan información al respecto de la metodología de cuantificación de los residuos en la construcción en general, de la clasificación por tipos de residuos o de las herramientas informáticas que permiten su gestión administrativa (Yost, 1996), (Reinhart, 2003), (Cochran, 2007), (Kofoworola, 2009), (Hsiao, 2002) (Chandrakanthi, 2002), (Wang, 2004), (Bossink, 1996), (Müller, 2006), (Bergsdal); dado que en éstas existe divergencia al respecto de esta temática, se hace necesario seleccionar pautas que permita referenciar la información a analizar; y es por estos, que en esta investigación hemos adoptado las definiciones establecidas en la legislación española (Gobierno de España, 1998), en la cual se establece como residuo a cualquier sustancia u objeto perteneciente a alguna de las categorías que figuran en el anejo de dicha Ley, y del cual su poseedor se deshará, y deba o tenga la intención u obligación de desprenderse de él. En todo caso, haremos también esta consideración a todos los materiales los que figuren en el Catálogo Europeo de Residuos (CER) (Unión Europea, 2000) aprobado por las Instituciones Comunitarias, y del cual, el capítulo diez y siete en específico (Residuos de la construcción y demolición), es el más directo relacionado con la construcción, amén de los capítulos quince (Embalaje o paquetes) i veinte (Residuos producto de la limpieza y desbroce del terreno).

2. 1 Tipos de residuos

En el sector de la construcción, se asigna el nombre de residuo a cualquier sustancia u objeto que cumpliendo la definición general de “Residuo”, se genere en una obra de construcción o de demolición; y que por tanto, atendiendo a este criterio éstos se podrán subdividir en dos tipos de residuos en función de su procedencia o de su naturaleza:

a) Según su procedencia:

1. De derribo: Son los materiales y productos de construcción que se originan como resultado de las operaciones de desmontaje, desmantelamiento y derribo de edificios y de instalaciones; dentro de este apartado, también se consideran a los residuos parciales originados por los trabajos de reparación o de rehabilitación, que de forma conjunta con los residuos de derribo son los que reportan mayor volumen y peso total de los residuos generados por la actividad constructora.
2. De construcción: Son los que se originan en el proceso de ejecución material de los trabajos de construcción, tanto de nueva planta como de rehabilitación

o de reparación. El origen de estos residuos es diverso, entre los cuales, se puede señalar a los que provienen de la propia acción de construir, a los que son originados por los materiales sobrantes (hormigones, morteros, cerámicas, etc., también llamados mermas), y a los que provienen de los embalajes de los productos que llegan a las obras (madera, papel, plásticos, etc.), cuyas características de forma y de tipo de material son variadas.

3. De excavación: Estos residuos son producto de los trabajos de excavación, y en general, se generan previos a la construcción; su composición suele ser menos variable que la de los dos grupos anteriores, contando con menos posibles materiales en su constitución y generalmente con naturaleza pétreo (arcillas, arenas, piedras, hormigones y obra de fábrica de los cimientos de edificaciones existentes)

b) Según su naturaleza:

1. Residuo inerte: Son todos aquellos residuos que no presenten riesgos de contaminación para las aguas, los suelos y el aire; en general, están constituidos por elementos minerales estables y son plenamente compatibles con el medio ambiente.

Los principales materiales que constituyen los residuos de la construcción suelen ser de origen pétreo, y por lo tanto de inertes para el sector, puesto que gracias a ellos, podrían ser propuestos para su reutilización dentro de la propia obra o en centrales de reciclado de áridos, previo triturado de ellos.

2. Residuo banal o no especial: Son los residuos que pueden ser tratados o almacenados en la misma instalación que los residuos domésticos. Se reciclan en instalaciones industriales junto con otros residuos, y pueden ser utilizados nuevamente formando parte de materiales específicos de la construcción.
3. Residuo especial: Son los residuos que están formados por materiales que tienen determinadas características que provoca se les clasifique como peligrosos en potencial, y que también pueden ser considerados como residuos industriales especiales. Estos residuos, suelen contener sustancias inflamables, tóxicas, corrosivas, irritantes, cancerígenas o que pueden provocar reacciones nocivas en contacto con otros materiales, y por lo cual, requieren un tratamiento especial, con el fin de aislarlos y facilitar su tratamiento específico o su deposición controlada.

2. 2 Representatividad de los residuos de la construcción

Por lo que respecta a la clasificación de las tipologías de residuos en la construcción y a su contenido representativo en las obras, se pueden encontrar ejemplos en la literatura de cómo se han reportado éstos, algunos de estos ejemplos, son presentados en la Figura 1, la cual permite apreciar la representatividad y variabilidad del tipo de éstos; en el inciso a) de ésta, se presenta la previsión de residuos para el sector de la construcción y de la demolición para el año 2001 del Gobierno español, destacándose los importantes pronósticos de materiales residuos del tipo cerámico y hormigón (del

54% y 12% respectivamente) (Gobierno Español - Ministerio de Mediambiente, 2001); en el inciso b), se presenta la distribución en porcentaje del peso (toneladas) de los diferentes residuos emitido por el Plan Nacional de los Residuos de España, destacando las composiciones máximas para los escombros de demolición (45%) y para la presencia de materiales del tipo plástico (16%) (Gobierno de España, 2006); en el inciso c), se presenta el estudio reportado por el Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña en referente al contenido y tipos de residuos en la construcción en porcentaje de su volumen (m^3), en el que se indican como tipos de residuos máximos a los casos de los escombros (75%) y de la basura (7%) (Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya - ITeC, 2000), y por último, en el inciso d), se presentan cuatro estudios citados en la literatura de la producción de desechos en la demolición (en % del peso) realizados en Europa y América (Chandrakanthi, 2002), (Spencer, 1991), (Bossink, 1996) (AEP, Alberta Environmental Protection, 1995), (CH2M Hill Engg, 1992), en la cual, se puede observar la gran variedad y diferencia de materiales y cantidades reportadas por los diferentes autores.

Por último comentar, que en estos gráficos se especifica la clasificación CER para los tipos de residuos coincidentes con nuestro estudio, y que tiene como finalidad el uniformizar todos los criterios en la medida de lo posible, para poder así realizar paralelismos entre todos.

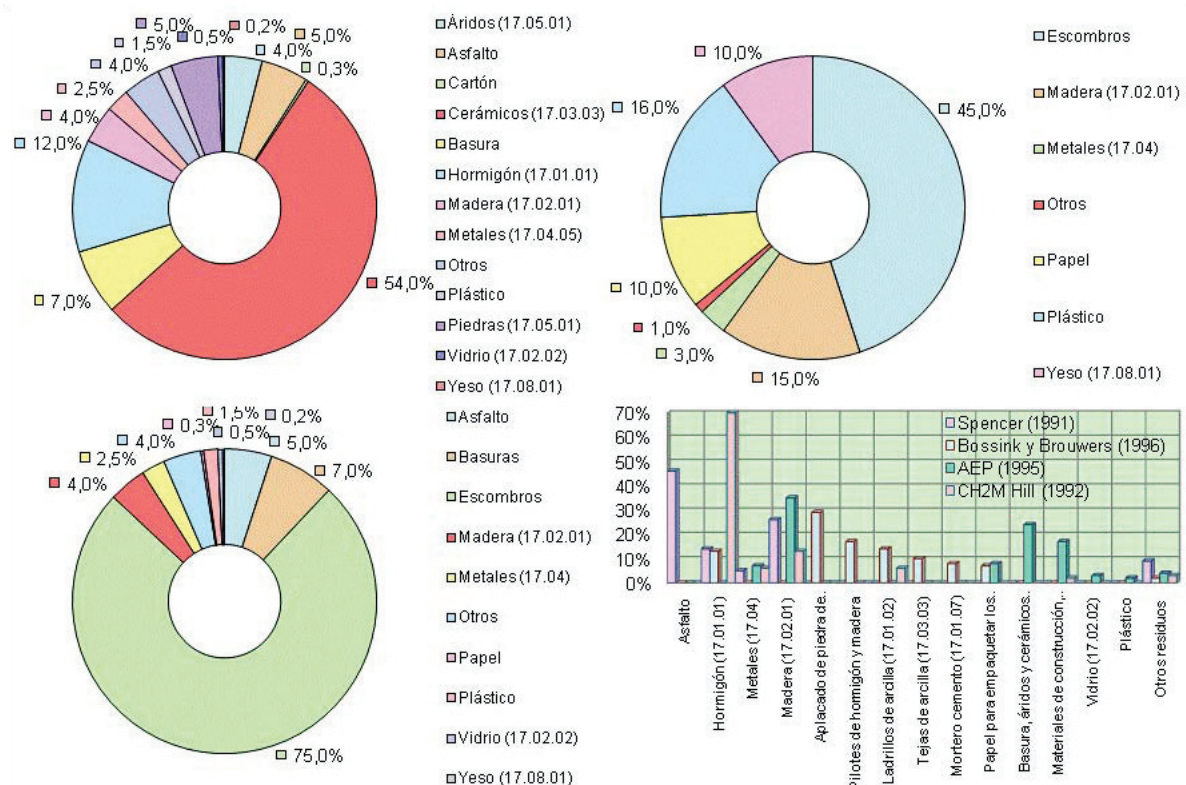


Figura 1 a) Previsión de residuos D&C 2001, b) Contenidos de residuos % (T), c) Contenidos de residuos % (m^3), d) Producción de residuos de demolición en EU y US.

En cuanto a los residuos que se pueden generar en el proceso exclusivo de la construcción, se puede decir que en la literatura se reportan valores que van del 1% al 10% en términos generales (Bossink, 1996) (Figura 2 b), (Wang, 2004), de un 10% para la madera (Reinhart, 2001), de un 5% para paneles de yeso y entre un 5% a un 8% para tejas de asfalto (Dagostino, 1999); sin embargo, es necesario decir que las anteriores cifras deben ser interpretadas y vinculadas ineludiblemente a la tecnología y métodos constructivos de cada país o zona geográfica específica, y por tanto, éstas son de difícil encaje estandarizado sin tener que hacer previamente estudios específicos de cada caso en particular. Por otra parte, se debe tener en cuenta que este tipo de residuos cuentan con una mayor heterogeneidad de tipología en sus contenidos, y que debido a su alto nivel de contaminación son difíciles de poder reciclar (Brooks, 1994), (Lanting, 1993).

En el caso de Latinoamérica, Brasil por ejemplo, reporta que la cantidad de desechos en fase de construcción puede llegar a cifras tan altas como del 20% o 30% del peso del material de una obra (Pinto, 1994), (Hamassaki, 1994), (Formoso, 1993); aunque si bien, también se comenta que existen otros factores externos a la construcción como el robo y el vandalismo que suelen imputarse en estas cifras también. En la siguiente Figura 2 a) se presentan los datos reportados de los residuos de ejecución de obras en Brasil de varios investigadores, (Pinto, 1989), (Soibelman, 1994), (Pinto, 1994), como se puede apreciar, existe una gran variedad en cuanto a los tipos de residuos que se reportan, llegando algunas de las cifras de ellos a valores extremos inexplicables, como es en los casos de los morteros, del cemento y de la cal, con porcentajes cercanos al 50% del material comprado (en peso).

Por otra parte, en el ámbito europeo algunos informes reportan las cantidades de residuos que se generan durante las obras, por ejemplo, en un estudio realizado en Holanda se indicó que el mayor porcentaje de residuos durante la construcción se centra en los residuos de los aplacados de piedra, en las cimentaciones profundas y en el hormigón (Bossink, 1996) (Figura 2 b).

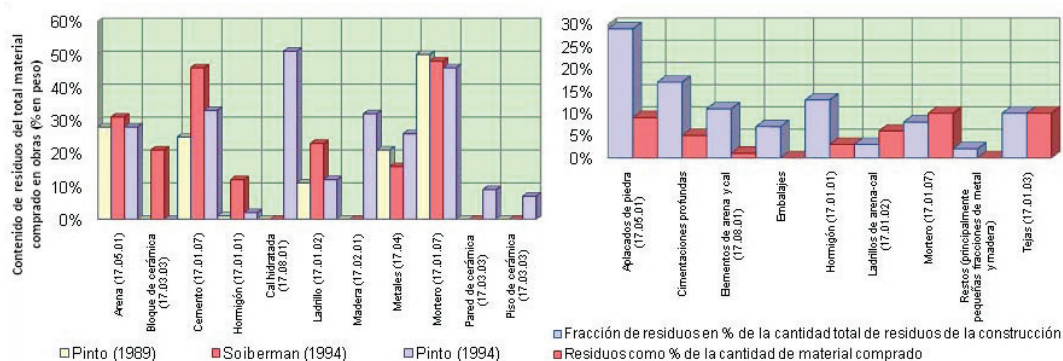


Figura 2 a) Residuos resultantes de la construcción en Brasil, b) Residuos del proceso de construcción en Holanda.

Por tanto, de los datos presentados anteriores, se evidencia que situaciones diversas, tales como el origen (durante la obra o en demolición), el ámbito internacional (país) o

local (región), la tecnología en construcción empleada, el tipo de obras a las que se hace referencia, el procedimiento para el conteo (previsión en fase de diseño o contabilización directa en obra), etc. son todos ellos factores que pueden provocar variaciones en cuanto a la información de los residuos que se generan en la construcción; y por tanto, se demuestra que en este ámbito del conocimiento existe una gran necesidad de afrontar y dar respuesta a todas ellas divergencias o inexactitudes; puesto que de poder ser así, no solo se mejorarían las condiciones económicas de la obra o el proceso de producción en la construcción, sino que permitirían además adoptar las medidas oportunas que fomenten los criterios de sostenibilidad y eviten más afectación medioambiental.

3. Objetivos de la investigación

La presente investigación, tiene como objetivo el establecer y determinar las tipologías de los diferentes residuos que se generan en obras típicas de construcción en el entorno español, así como su representatividad dentro de varios estudios; de igual forma, se pretende con este trabajo el determinar si estos residuos presentan correlación entre la tipología de obra del que proceden (Viviendas unifamiliares o Viviendas plurifamiliares), o con los datos reportados en la literatura de esta temática. Las anteriores conjeturas, se proponen como base de investigación atendiendo a que en la actualidad esta temática no se considera del todo esclarecida, o al menos con un grado de certeza irrefutable a nivel internacional puesto que existe gran variedad dispar en los resultados aportados, divergencia en cuanto a previsiones y datos reales, en cuanto a metodologías varias de previsión con procedimientos algorítmicos alternativos, etc.

La metodología utilizada para determinar las variables de estudio ha sido mediante un sistema informático evaluador de la generación de residuos en las obras. Dicho sistema permite la realización de simulaciones en base a parámetros calibrados preestablecidos y la información de descripción de los insumos, de sus características físicas y de sus propiedades mecánicas.

Para llevar a término lo anterior, han sido utilizados los datos y variables establecidas en un estudio previo (Gómez-Soberón, 2011), en el cual, se seleccionaron siete muestras representativas de cada tipología constructiva como fuente de información, así mismo, fueron seleccionados los parámetros comparativos de control y los criterios de normalización de las variables que permitieron un cotejo estadístico distintivo de las variables examinadas.

Por último, con los tipos de residuos, su representatividad y el tipo de construcción vinculada, se realizan las comparaciones y agrupaciones que permiten explicar y justificar los comportamientos observados, aportando datos técnicos a la comunidad investigadora con el fin de cotejar y vislumbrar las tendencias de su generación específica para sistemas particulares de construcción.

3.1 Sistema informático evaluador

Net Waste Tool (NWT) (Waste & Resources Action Programme (WRAP)) es un sistema informático con grandes prestaciones para la determinación de los tipos de residuos de la construcción, permitiendo la determinación directa de éstos o la inclusión de nuevos materiales no disponibles en su base mediante la petición del usuario en el sistema, y por último, es un sistema de uso libre que permite el trabajar de forma virtual desde la WEB.

Una vez que se ha introducido la información de un proyecto en específico, la herramienta la utiliza para estimar de forma probabilística los tipos de residuos sobre la base de la cantidad y de la masa de los componentes de cada partida de obra. La herramienta, permite identificar acciones específicas para reducir los niveles de residuos generados, su clasificación por tipo y por su masa, o el valor que pueden llegar a tener los materiales desperdiciados.

3.2 Relación de las muestras

Para el estudio de los tipos de residuos a generar en diferentes obras, esta investigación ha incluido las tipologías constructivas usuales en el sector de la edificación para el entorno español, analizando los dos Grupos de estudio en acuerdo a lo definido en investigación previa (Gómez-Soberón, 2011):

- Grupo 1: Viviendas unifamiliares.
- Grupo 2: Viviendas plurifamiliares.

Cada uno de los Grupos de estudio se ha compuesto por muestras representativas de éstos, en específico, siete muestras de cada Grupo se incluyeron para el proceso de investigación y análisis de los resultados.

Todas las muestras utilizadas están localizadas en el ámbito del territorio español, y para la normalización de sus datos resultantes en el análisis se seleccionaron los parámetros de superficie construida, de superficie útil y el número de ocupantes, permitiendo que las variables estudiadas resultantes puedan ser comparadas de forma objetiva entre ellas.

Para terminar, se han seleccionado únicamente como datos de análisis a las partidas que incluyen los capítulos de: cimentación, estructura vertical y horizontal, cubierta, escaleras fijas, cerramiento exterior, interior y practicable, carpintería metálica y de madera, acabados de yeso y mortero, pavimentos y muebles tanto de baño como de cocina, por considerarse que éstos capítulos son los que representan los elementos que perdurarán durante la vida útil de la construcción, además de que se les ha considerado uniformes y similares entre las muestras estudias.

En contraposición, se han apartado de este estudio a partidas de obra tales como: el total de las instalaciones, los acabados de alicatados y de pintura, las partidas en las que no se incluyen insumos de materiales en ellas (partidas alzadas, de ayudas, de indirectos, de seguridad y salud, etc.), por considerar que todas estas incrementarán la variabilidad de los resultados, no son de validez para el estudio propuesto e imposibilitan la comparación de la investigación.

3.3 Procesado de la información en NWT

Cada uno de los componentes (partidas) en la herramienta NWT se agrupan en uno o más elementos del proyecto (por ejemplo, muros exteriores, pisos, escaleras, etc.), por lo tanto, el sistema requiere que se le especifiquen de forma explícita cada uno de estos componentes individuales del proyecto, y si algún componente del proyecto no está en la base de datos del sistema, el programa permite añadir uno nuevo, o editar uno similar existente modificando su descripción o sus detalles específicos.

La herramienta NWT cuenta con una base de datos de referencia de más de 6000 componentes de la construcción, abarcando todos los aspectos de la construcción de un edificio, e incluso también, de proyectos de infraestructura. Para poder realizar los cálculos, el programa requiere que a cada uno de los componentes de la obra en estudio, le sean especificados los siguientes detalles de la misma:

- Unidad (m², t, kg, etc.)
- Dimensiones y densidad.
- Porcentaje de tasas de desperdicio para los siguientes parámetros:
 - Punto de partida.
 - Buenas prácticas.
- El contenido reciclado en masa para los siguientes puntos de referencia:
 - Práctica estándar
 - Práctica deseada.
- Tipo de material (cada componente se puede conformar con hasta cuatro tipo diferentes de materiales)
- Factor de carbono (esto incluye el ahorro estimado de carbono que se logra en las actividades de reducción de los residuos)
- Tasa, es decir, el coste de instalación que incluye la mano de obra y los materiales (aunque para la infraestructura y obras externas los datos se almacenan como una “Tasa de material”)
- Porcentaje de materiales, es decir, el porcentaje de la tasa global que puede atribuirse al coste exclusivo del material.

NWT permite que cualquiera de los datos de referencia antes indicados puedan ser modificados para crear componentes personales definidos por cada usuario, en la Figura 3 se presenta la ventana específica que da acceso a la edición e introducción de los componentes de un proyecto, y en la Figura 4, se presenta la ventana de edición de

un componente en particular; como puede verse en ambas ventanas, este programa informático es bastante intuitivos y de un fácil manejo y comprensión.

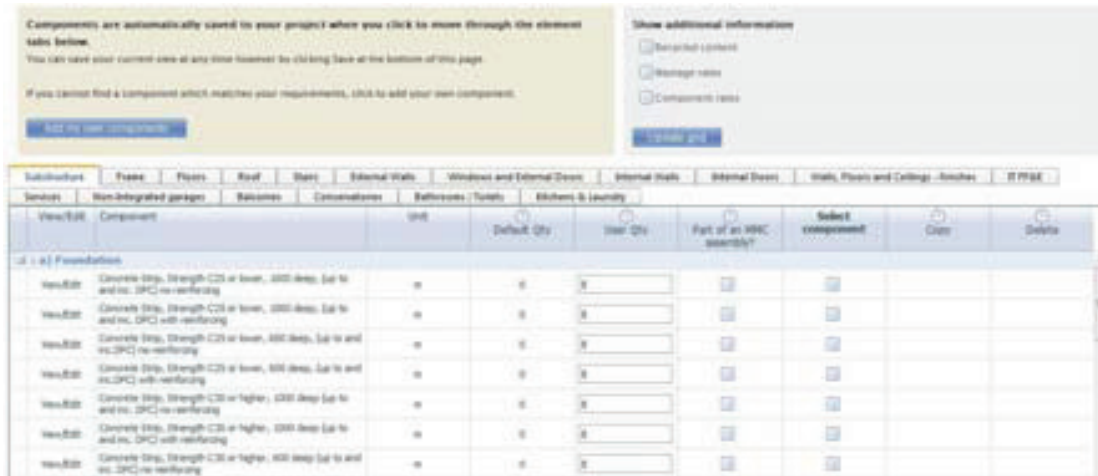


Figura 3 Menú de edición y carga de componentes por elementos.

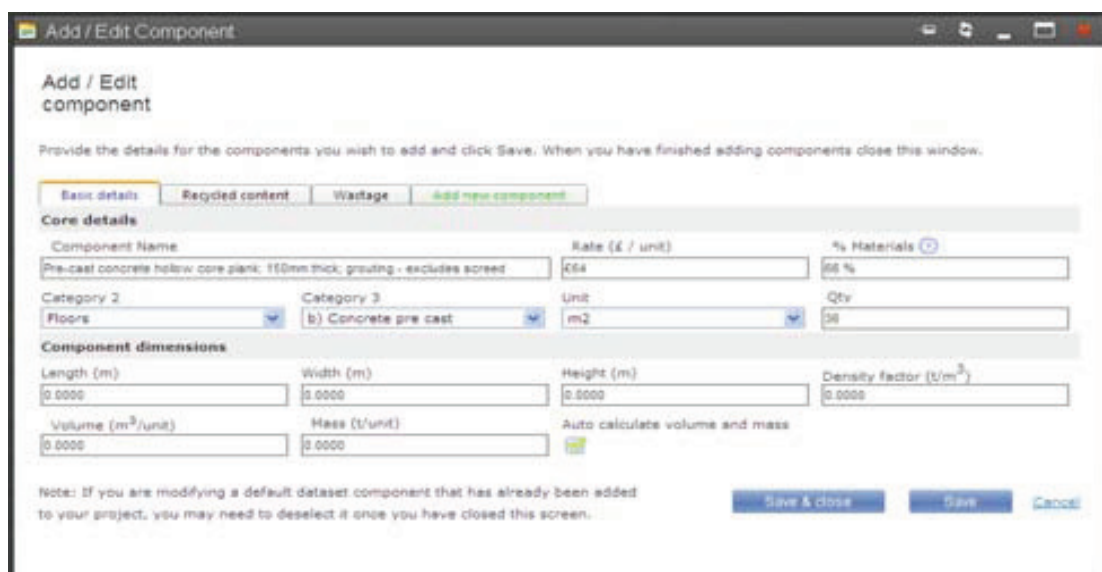


Figura 4 Ventana de edición de un componente.

Introducida la información del proyecto y calibrados los coeficientes para el cálculo global, el sistema utiliza algoritmos de cálculo que le permiten determinar los tipos de los residuos en base de la cantidad, masa de los componentes y constantes aportadas para cada elemento. Los resultados son obtenidos entonces, mediante la utilización de las unidades de medida del proceso, los índices y parámetros estadísticos de cada material, los componentes o proceso constructivos extraídos de la base de datos del programa, etc.

Tabla 1 Resultados normalizados obtenidos.

Tipo de Residuo (CER)	Grupo 1					Grupo 2						
	Total	Estándar	Deseado	Total	Estándar	Deseado	Total	Estándar	Deseado	Total	Estándar	Deseado
	Toneladas			Metros cúbico			Toneladas			Metros cúbico		
Aislamiento (17.06.04)	7.30	0.52	0.21	38.36	5.16	1.75	58.81	5.29	2.73	345.79	48.13	17.04
Aluminio (17.04.02)	1.45	0.04	0.02	1.07	0.01	0.01	26.79	0.07	0.00	34.25	0.07	0.00
Arena (17.05.01)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	155.62	7.84	4.71	173.20	8.74	5.25
Azulejos y cerámica (17.01.03)	31.19	1.89	0.94	35.67	2.25	1.18	333.49	19.01	11.03	364.46	20.27	11.63
Cartón-yeso (17.08.01)	8.70	1.12	0.72	14.79	1.90	1.22	231.50	53.24	34.73	393.86	90.59	59.08
Cemento, mortero y yeso (17.01.07)	22.95	1.94	1.04	32.70	2.76	1.49	279.81	30.92	17.21	399.15	47.95	27.10
Grava (17.05.01)	12.17	1.05	0.64	15.12	1.30	0.79	131.93	5.75	2.99	129.07	5.75	3.02
Hormigón (17.01.01)	444.75	18.66	9.68	388.15	16.22	8.40	4565.06	190.14	97.49	3959.64	165.80	85.37
Ladrillos (17.01.02)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.95	0.00	0.00	7.07	0.00	0.00
Ladrillos y bloques (17.01.07)	102.38	16.14	7.10	132.73	21.93	9.61	1037.74	40.00	23.26	1348.04	52.03	30.51
Madera (17.02.01)	6.49	0.31	0.15	8.38	0.46	0.24	53.84	4.10	2.29	100.91	7.60	4.16
Metales (17.04.05)	48.01	2.20	1.13	46.92	2.34	1.22	498.57	31.02	17.80	540.99	45.89	27.64
Piedra (17.05.01)	20.64	1.70	1.13	14.80	1.22	0.73	70.76	3.43	2.13	51.71	2.54	1.58
Vidrio (17.02.02)	3.85	0.04	0.01	3.13	0.03	0.01	22.87	0.32	0.07	18.45	0.28	0.07
Zinc (17.04.05)	0.57	0.09	0.03	0.81	0.12	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTALES	710.46	45.69	22.78	732.63	55.71	26.69	58.81	5.29	2.73	345.79	48.13	17.04

Tabla 2 Constantes promedio de cada Grupo de estudio.

Superficie útil m²	Superficie construida m²	Uso (ocupantes)
	Grupo 1	
250,00	303,81	6
	Grupo 2	
3225,22	3637,00	87

4. Análisis de los resultados

Se obtuvieron del sistema NWT los reportes de tipologías de residuos generados en cada una de las catorce muestras analizadas, detectando un total de quince materiales básicos como materiales residuos del proceso de la construcción, para cada reporte y material residuo analizado, se obtuvieron los datos de su cantidad total y de sus residuos para los criterios de su gestión estándar y deseada, con reportes de medición tanto en toneladas como en metros cúbicos. Como síntesis de la información que se generó en esta investigación, la Tabla 1 aporta el resumen promedio para los Grupo de estudio, indican en ambos casos la clasificación de los residuos detectados en base a CER.

Como un primer análisis de los datos obtenidos, se puede decir que los correspondientes al Grupo de estudios uno, identifican a los tipos de residuos definidos como ladrillos y bloques, seguido por el hormigón, como los residuos que se producen en mayor cantidad para este tipos de obras, destacándose ambos tipos de residuo con bastante diferencia del resto de tipos de residuos determinados. Para el caso del Grupo de estudio dos, se determina como el residuo principal generado al del los residuos provenientes de los ladrillos, siguiendo a éstos, pero con una producción bastante menor a los residuos del Cartón-yeso (muros interiores).

Por último, en cualquiera de los casos y materiales residuos reportados, la gestión de procedimiento deseable reduce siempre en aproximadamente el 50% los residuos a generar con respecto a la gestión con procedimiento estándar. Los anteriores comentarios puede ser vistos la Figura 5, en la cual se presentan los diferentes residuos promedio expresando como porcentajes parciales de cada tipo de residuo, tanto en el inciso a) que se presenta en toneladas, como en el inciso b) expresado en metros cúbicos.

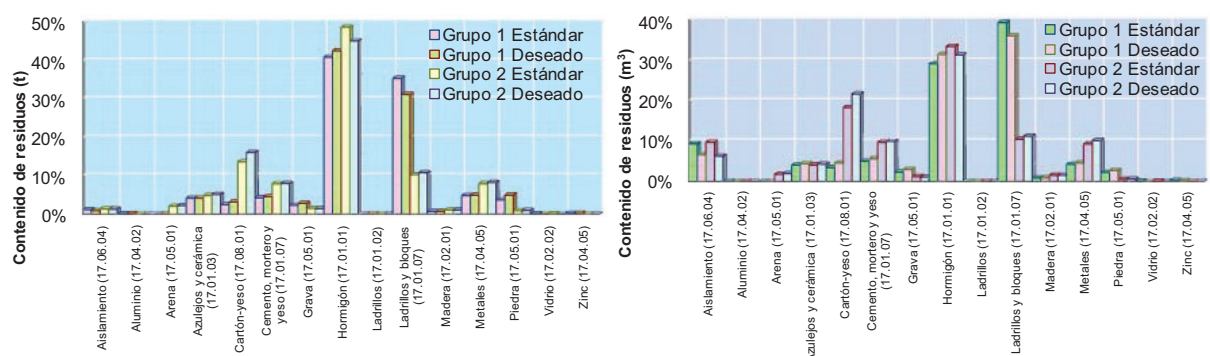


Figura 5 a) Porcentaje de residuos en toneladas, b) Porcentaje de residuos en metros cúbicos.

Para poder normalizar los anteriores datos, se ha procedido a dividir cada uno de estos entre las constantes promedio de cada Grupo: promedio de superficie útil construida, promedio de superficie total construida y número promedio de usuarios presentada en

la Tabla 2 del estudio previo referenciado (Gómez-Soberón, 2011), y de dicho proceso se generaron los datos presentados en la Tabla 1 de esta investigación.

El resultado del anterior procedimiento, hace generar seis tablas (tres para cada Grupo de estudio) con los valores normalizados de los diferentes tipos de residuos, de los cuales, por disponibilidad de espacio solo se presentan los gráficos comparativos siguientes (quedando a solicitud del lector el completo de la información del estudio):

En los dos primeros (Figura 6) y (Figura 7), representan a los tipos de residuos generados para los dos Grupos de estudio normalizados (tanto en toneladas como en metros cúbicos) bajo los criterios de superficie útil y construida, en el caso de a) con hipótesis de gestión de residuos estándar y en el caso de b) con hipótesis de gestión de residuos deseada.

De éstos gráficos, se puede decir que la gestión deseada reduce en términos generales del orden del 50% de los diferentes tipos de residuos. Por otra parte, la normalización mediante la constante del promedio de superficie construida, en términos generales, permitiría más exactitud en el cotejo de los diferentes residuos al presentar mayor recorrido.

Por otra parte, el residuo que más impacto genera en la construcción en ambos Grupos de estudios, en términos de cuantificación de toneladas es el hormigón, llegando a reportar valores que van desde los 0.027 t/m^2 hasta los 0.074 t/m^2 (indistintamente del tipo de gestión o de la normalización de superficie construida o útil). El siguiente residuo con representatividad del estudio, para el caso del Grupo de estudio uno, es el denominado ladrillos y bloques, reportando valores normalizados del orden de 0.023 t/m^2 hasta 0.065 t/m^2 (mismos criterios de interpretación de las cifras); mientras que para el Grupo de estudio dos, es el residuo denominado cartón y yeso, con cifras que van desde los 0.001 hasta 0.017 t/m^2 (mismos criterios de interpretación de las cifras).

Por último, en cuanto a términos de cuantificación mediante unidades de metros cúbicos, el residuo más representativo es el de ladrillos y bloques, llegándose a reportar valores que van desde $0.008 \text{ m}^3/\text{m}^2$ hasta los $0.087 \text{ m}^3/\text{m}^2$, seguido del de hormigón con cifras que van desde los $0.023 \text{ m}^3/\text{m}^2$ hasta los $0.065 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Los anteriores comentarios, son válidos para valores representativos de ambos Grupos de estudio, gestión aplicada e indistintamente de la superficie construida o útil.

En la Figura 8, se presentan los diferentes residuos reportados del análisis normalizado bajo la constante promedio de usuarios, se puede decir de estos gráficos que en el inciso a), por cada usuario se generan del orden de 3.01 toneladas de hormigón y de 2.69 toneladas de ladrillos y bloques (Grupo 1 de estudio), mientras que para el Grupo 2, se generan el orden de 2.18 toneladas de hormigón y de 0.61 toneladas de cartón yeso por usuario; en cuanto al inciso b), por cada usuario se generan del orden de 3.65 metros cúbicos de ladrillos y bloques, y de 2.7 metros cúbicos de hormigón (Grupo 1 de estudio), mientras que para el Grupo 2 de estudio, se reportan valores del orden de 1.9 metros cúbicos de hormigón y de 1.04 metro cúbico de cartón yeso por usuario.

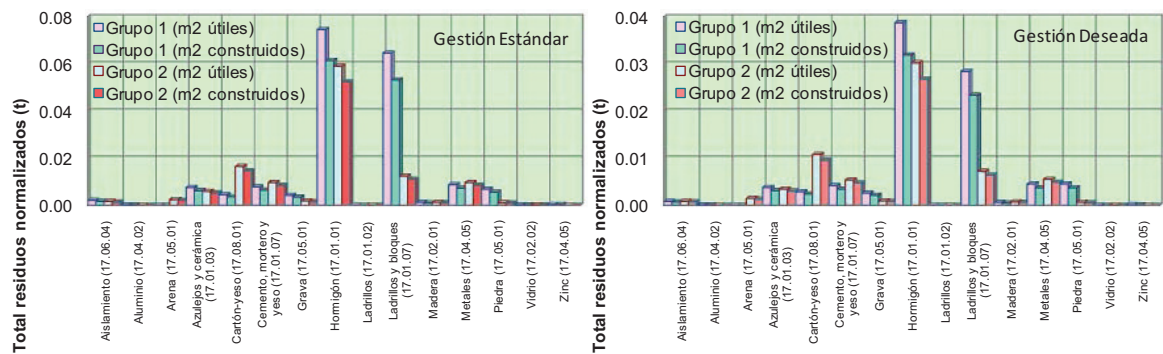


Figura 6 Residuos normalizados en toneladas. a) Gestión Estándar, b) Gestión Deseada.

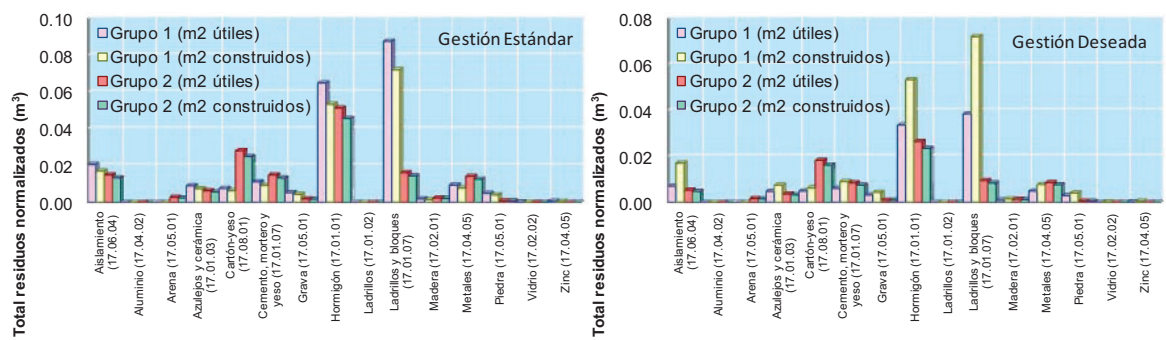


Figura 7 Residuos normalizados en metro cúbico. a) Gestión Estándar, b) Gestión Deseada.

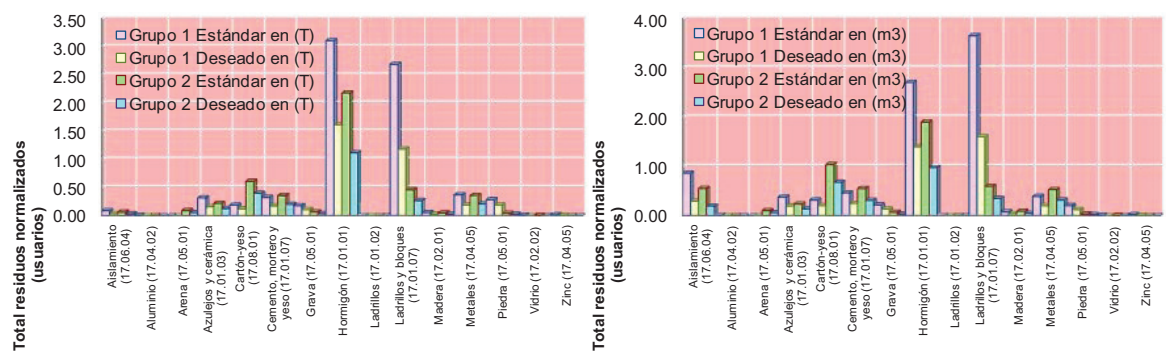


Figura 8 Residuos normalizados por usuarios. a) Por toneladas, b) Por metro cúbico.

Para terminar, en la Figura 9 se presentan los resultados de los diferentes residuos identificados en esta investigación, agrupándose éstos en acuerdo a CER; en el caso del inciso a) en toneladas y en el caso del inciso b) en metros cúbicos. Como primera observación, se puede decir que el tipo de residuo con mayor porcentaje de peso, para ambos Grupos de estudio, es el hormigón, seguido de las fábricas de ladrillo y elementos cerámicos.

Por lo que respecta específicamente al inciso a), es de resaltar que aunque la mayor parte de las particiones (muros interiores divisorios) del Grupo 2 de estudio están solucionadas mediante el uso de cartón-yeso, el porcentaje de residuos producidos es muy inferior al generado por las particiones de fábrica de ladrillo de las muestras del Grupo 1; lo anterior podría servir como justificación para seleccionar como material más sostenible el realizar los de partición interior mediante cerramientos de cartón-yeso, puesto que producen menos cantidad de residuos, y por tanto mejoran la calidad sostenible del proyecto.

Por último, para el inciso b) se puede verificar que en lo que respecta a los tipos de residuos normalizados por su volumen, la tipología de residuo que producen mayor volumen de residuos son los insumos vinculados con el cemento, el mortero y el yeso, así como el vinculado con los cerramientos (ladrillos y bloques), que en este caso en particular, son incluso más representativos que el propio hormigón.

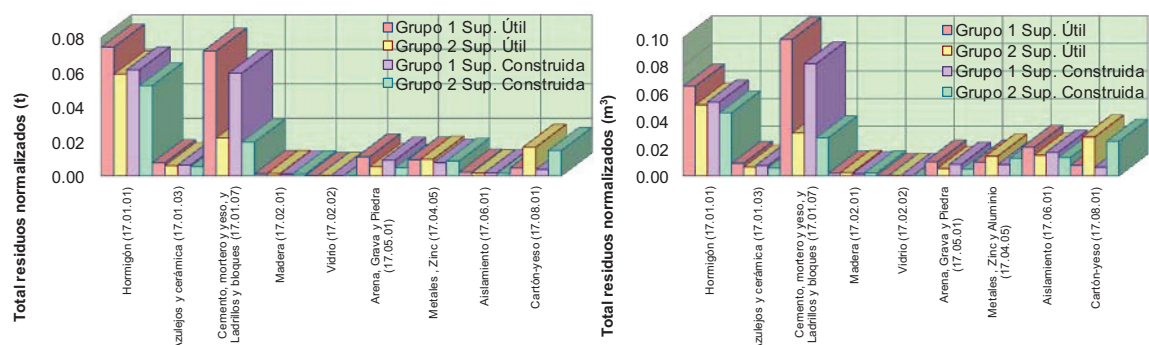


Figura 9 Residuos normalizados. a) Toneladas, b) Metros cúbicos (CER).

5. Conclusiones

5.1 Generales:

1. La determinación de los tipos y cantidades de residuos a generar en las obra, ya sea en fase de diseño o directamente en el proceso de la construcción, son factores que pueden mejorar la sostenibilidad del sector de la construcción.
2. En cualquiera de los casos analizados, una gestión de procedimiento clasificada como deseable, en comparación con una gestión de procedimiento estándar, reducirá siempre significativamente los posibles residuos a generar; por tanto, es

deseable que estos procedimientos se establezcan como mejoras sostenibles en la construcción mediante legislación de obligado cumplimiento, cobrando importancia una adecuada supervisión que asegure estos procedimientos constructivos apegados a lo deseable y no a lo que tradicionalmente se ejecuta.

3. La gestión correcta de los residuos de construcción y demolición debe ser considerada como un criterio que permita acreditar verdadero compromiso ambiental por parte del sector de la industria de la construcción, traducido lo anterior en el establecimiento de una previsión acertada desde el diseño propio de cada proyecto.
4. Tanto en el estudio de viviendas unifamiliares como plurifamiliares, se identifican a los tipos de residuos definidos como ladrillos y bloques, seguido de cerca por el de hormigón, como los residuos que se producen en mayor cantidad en este tipo de obras, destacándose ambos con gran diferencia del resto de tipos de residuos determinados.

5.2 Específicas:

1. El Grupo de estudios uno (Viviendas unifamiliares) cuenta como principales residuos generados a los ladrillos y bloques, seguido por el hormigón,
2. El Grupo de estudio dos (Viviendas plurifamiliares) reporta que los residuos generados con mayor representatividad son los residuos provenientes de los ladrillos y los residuos del Cartón-yeso (muros interiores)
3. La gestión deseada reduce en términos generales del orden del 50% los diferentes tipos de residuos.
4. El residuo que más impacto genera en la construcción en ambos Grupos de estudios, en términos de cuantificación de toneladas, es el hormigón, llegando a reportar valores que van desde los 0.027 t/m^2 hasta los 0.074 t/m^2
5. En cuanto a términos de cuantificación mediante unidades de metros cúbicos, el residuo más representativo es el de ladrillos y bloques, llegándose a reportar valores que van desde $0.008 \text{ m}^3/\text{m}^2$ hasta los $0.087 \text{ m}^3/\text{m}^2$, seguido a continuación por el hormigón con cifras que van desde los $0.023 \text{ m}^3/\text{m}^2$ hasta los $0.065 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen a: Convocatoria de ayudas para la iniciación o reincorporación a la actividad de investigación del Vicerrectorado de Política Científica la UPC 2010-2011, al Proyecto de innovación docente "Atenea Labs 2011" del ICE de la UPC, al Proyecto de Mejoras Docentes PMD 2009-2010 del ICE-UPC, al proyecto de investigación S-01117 del CTT-UPC, a la EPSEB-UPC y al Departamento CAII-EPSEB-UPC.

7. Referencias

- AEP, Alberta Environmental Protection** Alberta Recycling Market Profiles: Construction and Demolition." [Informe]. - 1995.
- ARC (Catalan Waste Agency)** Revisió del Programa de Gestió de Residus de la Construcció a Catalunya (2004–2006) [Informe]. - 2006. - Documento disponible en Catalán.
- Batayneh M., Iqbal, M., Ibrahim, A.** Use of selected waste materials in concrete mixes [Publicación periódica] // Waste Management. - 2007. - Vol. 27. - págs. 1870–1876.
- Bergsdal H., Bohne, R.A., Brattebo, H.** Projection of construction and demolition waste in Norway [Publicación periódica] // Journal of Industrial Ecology. - 2007 : [s.n.]. - Vol. 11 (3). - págs. 27–39.
- Bossink B. A. G., and Brouwers, H. J. H.** Construction Waste: Quantification and Source Evaluation [Publicación periódica] // Journal of Construction Engineering and Management. - 1996. - Vol. 122 (1). - págs. 55-60.
- Brooks K. A., Adams, C., and Demsetz, L. A.** Germany's construction and demolition debris recycling infrastructure: What lessons does it have for the U.S.? [Conferencia] // Sustainable construction (Proc. 1ª Conf. de CIB TG 16) / ed. Kibert C. J.. - 1994. - págs. 647-656.
- CH2M Hill Engg** Construction and Demolition Industry Waste Audit Study, [Informe] : Report submitted to Alberta Environmental Protection. - 1992.
- Chandrakanthi M., Hettiaratchi, P., Prado, B. and Ruwanpura, J. Y.** Optimiztion of the waste management for construction projects using simulation [Conferencia] // Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference / ed. Yucsan E. Chen C. H., Snowdon J. L. and Charnes J. M.. - 2002. - págs. 1771-1777.
- Chandrakanthi M., Hettiaratchi, P., Prado, B., Ruwanpura, J.** Optimization of the waste management for construction projects using simulation [Conferencia] // Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, December 8–11, San. - San Diego, California : [s.n.], 2002. - págs. 1771–1777.
- Cochran K., Townsend, T., Reinhart, D., Heck, H.** Estimation of regional building-related C&D debris generation and composition: case study for Florida, US [Publicación periódica] // Waste Management. - 2007. - Vol. 27. - págs. 921–931.
- Dagostino F.R., Feigenbaum, L.** Estimating in Building Construction [Informe] / Prentice-Hall, Inc.. - Upper Saddle River, NJ., US : [s.n.], 1999.
- EC (European Commission)** Directorate-General Environment, Directorate EIndustry and Environment, ENV.E.3-Waste Management, Management of Construction and Demolition Waste, Working Document No. 1. [Informe]. - 2000.
- Editorial Waste Management & Research** Challenges in sustainable management of construction and demolition waste [Publicación periódica] // Waste Management & Research. - 2008. - Vol. 26. - págs. 491-492.
- Editorial Waste Management** Sustainable management of waste and recycled materials in construction [Publicación periódica] // Waste Management. - 2011. - Vol. 31. - págs. 199-200.

- Erlandsson M., Levin, P.** Environmental assessment of rebuilding and possible performance improvements effect on a national scale [Publicación periódica] // Building and Environment. - 2005. - Vol. 40 (11). - págs. 1459–1471.
- European Environmental Agency (EEA)** Review of Selected Waste Streams [Informe]: Technical Report No. 69 / European Environmental Agency. - Copenhagen, Denmark : [s.n.], 2002.
- Formoso C. T.** Developing a method for controlling material waste on building sites [Conferencia] // Economic evaluation and the built environment. - Lisboa, Portugal : [s.n.], 1993.
- Gobierno de España** Boletín Oficial Español [En línea] // Ley 10/1998, de 21 de abril de Residuos del Gobierno Español. - 21 de 4 de 1998. - 1 de 5 de 2011. - http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/doc.php?BOE-A-1998-9478.
- Gobierno de España** Plan Nacional Integrado de Residuos [En línea] // II Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (II PNRCD). - 30 de 11 de 2006. - 1 de 5 de 2011. - http://www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/residuos/planificacion_residuos/pdf/borradorpnir_anexo6.pdf.
- Gobierno Español - Ministerio de Mediambiente** Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001–2006 [Informe]: BOE 166 del 12/7/2001. - Madrid, España : [s.n.], 2001.
- Gómez-Soberón J. M., Corral-Higuera, R., Arredondo-Rea, S. P., Gómez-Soberón, M. C., Gómez-Soberón, L. A. y Esteban-Díaz, M. Á.** Sostenibilidad en la edificación. Comparación de dos sistemas constructivos [Conferencia] // Trabajo presentado en el II Congreso Internacional de Cambios Climáticos de la VIII Convención Internacional Sobre Medio Ambiente y Desarrollo. - La Habana, Cuba : [s.n.], 2011. - págs. 1-23.
- Gül Y. C., Gül E. O., Riley, D. R.** Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings [Publicación periódica] // Automation in Construction. - 2010. - Vol. 19. - págs. 235-244.
- Hajjar D., and AbouRizk, S.** Application Framework for Development of Simulation Tools [Publicación periódica] // Journal of Computing in Civil Engineering. - 2000. - Vol. 14 (3). - págs. 160-167.
- Hamassaki L. T., and Neto, C. S.** Technical and economic aspects of construction/demolition waste utilization [Conferencia] // Sustainable construction (Proc. 1ª Conf. de CIB TG 16) / ed. Kibert C. J.. - 1994. - págs. 395-403.
- Hendriks C.F., Pietersen, H.S.** Sustainable Raw Materials: Construction and Demolition Waste [Libro]. - Cachan Cedex : RILEM Publication, 2000.
- Hsiao T., Huang, Y., Yu, Y., Wernick, I.** Modeling materials flow of waste concrete from construction and demolition wastes in Taiwan [Publicación periódica] // Resources Policy. - 2002. - Vol. 28 (1). - págs. 39–47.
- Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya - ITeC** Situación actual y perspectivas de futuro de los residuos de la construcción [En línea]. - 2000. - 1 de 5 de 2011. - http://www.itec.es/nouArxiuP.e/fitxers/situacion_actual_castellano.PDF.
- Instituto Nacional de Estadística. (National Statistics Institute)** [En línea]. - 01 de 05 de 2011. - <http://www.ine.es/>.

- Jaillon L., Poon, C.S., Chiang, Y.H.** Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong [Publicación periódica]. - Waste Management : [s.n.], 2008. - Vol. 29. - págs. 309–320.
- Kofoworola O.F., Gheewala, S.H.** Estimation of construction waste generation and management in Thailand [Publicación periódica] // Waste Management. - 2009. - Vol. 29. - págs. 731–738.
- Lanting R. W.** Stofstromen in de bouw en het milieubeleid [Conferencia] // Ketenbeheer in de bouw / ed. Wolters T. J. J. B.. - Holanda: [s.n.], 1993. - págs. 25-38. - En Danés.
- Llatas C.** A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list [Publicación periódica] // Waste Management. - 2001. - doi:10.1016/j.wasman.2011.01.023.
- Müller D.B.** Stock dynamics for forecasting material flows – case study for housing in the Netherlands [Publicación periódica] // Ecological Economics. - 2006. - 59 (1). - págs. 142–156.
- Ortiz O., Pasqualino.J. C., Castells, F.** Environmental performance of construction waste: Comparing three scenarios from a case study in Catalonia, Spain [Publicación periódica] // Waste Management. - 2010. - Vol. 30. - págs. 646–654.
- Pinto T. P.** Perda de materiais em processos construtivos tradicionais [Informe] / UFSCAR Departamento de Engenharia Civil. - San Carlos, Brasil : [s.n.], 1989.
- Pinto T. P., Agopayan. V.** Construction wastes as raw materials for low-cost construction products [Conferencia] // Sustainable construction (Proc. 1ª Conf. de CIB TG 16) / ed. Kibert C. J.. - 1994. - págs. 335-342.
- Reinhart D., Townsend, T., Heck, H., Chakrabarti, S., Cochran, K., Medeiros, S.** Project summary: generation and composition of construction and demolition waste in Florida [Informe] / Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management. - Gainesville : [s.n.], 2003. - pág. 123.
- Reinhart D.R., Townsend, T.G., Heck, H., Chakrabarti, S., Cochran, K., Medeiros, S.** Generation and composition of construction and demolition waste in Florida [Informe] / State University System of Florida, Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management. - Gainesville, Florida, US : [s.n.], 2001.
- Soibelman L., Formoso, C. T., and Franchi. C. C.** A study on the waste of materials in the building industry in Brazil [Conferencia] // Sustainable construction (Proc. 1ª Conf. de CIB TG 16) / ed. Kibert C. J.. - 1994. - págs. 555-563.
- Solís-Guzmán J. Marrero, M., Montes-Delgado, M. V., and Ramírez-de-Arellano, A.** A Spanish model for quantification and management of construction waste [Publicación periódica] // Waste Management. - 2009. - Vol. 29. - págs. 2542–2548.
- Spain Green Building Council (Consejo Construcción Verde España)** SpainGBC [En línea]. - 1 de junio de 2011. - <http://www.spaingbc.org/detalle-noticia.php?id=11>.
- Spain Green Building Council (Consejo Constructor Verde España)** [En línea]. - 01 de 05 de 2011. - <http://www.spaingbc.org/>.
- Spencer R.** Taking Control of C&D Debris, Biocycle [Informe]. - 1991. - págs. 65-68.
- Symonds** Construction and demolition waste management practices, and their economic impacts [Informe] / DGXI ; European Commission. - 1999.

- U.S. Green Building Council (USGBC)** [En línea]. - 01 de 05 de 2011. - <http://www.usgbc.org/>.
- Unión Europea** Catálogo Europeo de Residuos CER. Decisión 2000/532/CE [Informe]. - 2000.
- Wang J. Y., Touran, A., Christoforou, C., and Fadlalla, H.** A systems analysis tool for construction and demolition wastes management [Publicación periódica] // Waste Management. - 2004. - Vol. 24. - págs. 989–997.
- Wang J., Y., Touran, A., Christoforos, C., Fadlalla, H.** A systems analysis tool for construction and demolition wastes management [Publicación periódica] // Waste Management. - 2004. - Vol. 24. - págs. 989–997.
- Wang J.Y., Touran, A., Christoforou, C., Fadlalla, H.** A systems analysis tool for construction and demolition wastes management [Publicación periódica] // Waste Management. - 2004. - Vol. 24. - págs. 989–997.
- Waste & Resources Action Programme (WRAP)** [En línea]. - 01 de 05 de 2011. - <http://nwtool.wrap.org.uk/>.
- Yost P. A., and Halstead, J. M.** A methodology for quantifying the volume of construction waste [Publicación periódica] // Waste Management & Research. - 1996. - Vol. 14. - págs. 453–461.